

#2

Docket No.: 50212-342

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of :
Tetsufumi TSUZAKI, et al. :
Serial No.: : Group Art Unit:
Filed: January 30, 2002 : Examiner:
For: OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM



**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claims the priority of:

Japanese Patent Application Number 2001-024267, Filed January 31, 2001

cited in the Declaration of the present application. A Certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Arthur J. Steiner

Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:kjw
Date: January 30, 2002
Facsimile: (202) 756-8087

50212-342
Tetsutsumi Tsuzaki et al
January 30, 2002

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2001年 1月31日

出 願 番 号
Application Number:

特願2001-024267

出 願 人
Applicant(s):

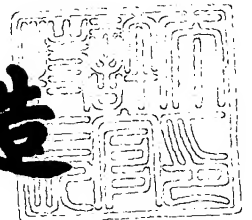
住友電気工業株式会社

J1040 U.S. PTO
10/058326
01/30/02

2001年10月26日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3093438

【書類名】 特許願

【整理番号】 100Y0118

【提出日】 平成13年 1月31日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/35501

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 津▲崎▼ 哲文

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 西村 正幸

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001754

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 信号光波長帯域内の信号光を第 1 の地点から第 2 の地点へ伝送する光通信システムであって、

前記第 1 の地点から前記第 2 の地点へ前記信号光を伝送するとともに、ラマン増幅用励起光が供給されることにより前記信号光をラマン増幅する複数のラマン増幅用光ファイバを含む光伝送路と、

前記複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれに前記ラマン増幅用励起光を供給する励起光供給手段と

を備え、

前記複数のラマン増幅用光ファイバのうちの何れか 2 つのラマン増幅用光ファイバについて、ラマン増幅の利得が最大となる波長、ラマン増幅の利得が極大となる波長の数、および、対応する励起光供給手段に含まれる励起光源の数のうち、何れかが異なることを特徴とする光通信システム。

【請求項 2】 前記 2 つのラマン増幅用光ファイバそれぞれのラマン増幅の利得スペクトルの差の絶対値を波長について積分した値が $7.5 \text{ dB} \cdot \text{nm}$ 以上であることを特徴とする請求項 1 記載の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、信号光を用いて通信を行う光通信システムに関し、特に、信号光が光伝送路を伝送される際に被る伝送損失をラマン増幅により補償する光通信システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

信号光を用いて通信を行う光通信システムにおいて、送信器から送出された信号光は、光伝送路を伝送される際に伝送損失を被り、受信器に到達するときにはパワーが小さくなる。受信器に到達した信号光のパワーが所定値以下であると、

受信エラーに因り正常に光通信を行えない場合が生じ得る。そこで、送信器と受信器との間に光増幅器を設けて、この光増幅器により信号光を光増幅することで、信号光が光伝送路を伝送される際に被る伝送損失を補償することが行われている。

【 0 0 0 3 】

このような光増幅器には、希土類元素が添加された増幅用光ファイバを用いた希土類元素添加光ファイバ増幅器（例えば E r 元素添加光ファイバ増幅器）と、ラマン増幅用光ファイバにおけるラマン増幅現象を利用したラマン増幅器とがある。希土類元素添加光ファイバ増幅器と比べると、ラマン増幅器は、ラマン増幅用励起光の波長を適切に設定することで利得を有する波長帯域を所望のものにすることが可能である等の特徴を有している。

【 0 0 0 4 】

また、所定の信号光波長帯域内の多波長の信号光を多重化して光通信を行う波長多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）光通信システムでは、この信号光波長帯域における光増幅器の利得スペクトルは平坦であることが重要である。さもないと、信号光波長帯域内の或る波長の信号光は受信器により正常に受信されたとしても、利得が小さい他の波長の信号光は受信エラーが生じる場合があるからである。そこで、ラマン増幅器の利得スペクトルを平坦化する技術について研究がなされている。

【 0 0 0 5 】

例えば、文献 1 「Y. Emori, et al., "100nm bandwidth flat gain Raman amplifiers pumped and gain-equalized by 12-wavelength-channel WDM high power laser diodes", OFC'99, PD19 (1999)」に記載されたラマン増幅器の利得平坦化技術では、N 個（ $N \geq 2$ ）の励起光源それぞれから出力された光を合波したものをラマン増幅用励起光としてラマン増幅用光ファイバに供給する。そして、N 個の励起光源それぞれの出力中心波長および出力パワーを適切に設定することで、ラマン増幅器の利得スペクトルの平坦化を図っている。文献 1 では、励起光源の個数 N を 1 2 としている。

【 0 0 0 6 】

また、文献2「F. Koch, et al., "Broadband gain flattened Raman Amplifier to extend operation in the third telecommunication window", OFC'2000, ThD, FF3 (2000)」に記載されたラマン増幅器の利得平坦化技術では、ラマン増幅用光ファイバにおける利得スペクトルと略同形状の損失スペクトルを有する利得等化器を設けることで、ラマン増幅器の利得スペクトルの平坦化を図っている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記の従来のラマン増幅器の利得平坦化技術は、以下のような問題点を有している。すなわち、長距離の光通信を行う光通信システムにおいては、送信器と受信器との間に M 個 ($M \geq 2$) のラマン増幅器を備える必要がある場合がある。この場合に、文献1に記載された利得平坦化技術を採用するとすれば、光通信システムの全体で必要となる励起光源の総数は $M \times N$ となって、光通信システムのコストは高くなる。

【0008】

また、文献2に記載された利得平坦化技術を採用したラマン増幅器では、ラマン増幅用光ファイバにおいて信号光を光増幅しておきながら、利得等化器において信号光を減衰させるものであることから、励起効率が悪い。

【0009】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、信号光波長帯域におけるラマン増幅の利得スペクトルが平坦であってコストが安く励起効率が優れた光通信システムを提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光通信システムは、信号光波長帯域内の信号光を第1の地点から第2の地点へ伝送する光通信システムであって、(1) 第1の地点から第2の地点へ信号光を伝送するとともに、ラマン増幅用励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅する複数のラマン増幅用光ファイバを含む光伝送路と、(2) 複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれにラマン増幅用励起光を供給する励起光供給

手段とを備えている。そして、複数のラマン増幅用光ファイバのうちの何れか2つのラマン増幅用光ファイバについて、ラマン増幅の利得が最大となる波長、ラマン増幅の利得が極大となる波長の数、および、対応する励起光供給手段に含まれる励起光源の数のうち、何れかが異なることを特徴とする。また、本発明に係る光通信システムは、2つのラマン増幅用光ファイバそれぞれのラマン増幅の利得スペクトルの差の絶対値を波長について積分した値が $7.5 \text{ dB} \cdot \text{nm}$ 以上であるのが好適である。

【0011】

この光通信システムによれば、第1地点（送信器または中継器）から送出された信号光波長帯域内の信号光は、複数のラマン増幅用光ファイバを含む光伝送路を伝搬して、第2地点（受信器または中継器）まで到達する。ここで、光伝送路は、中継区間に敷設された光ファイバと、中継器内の光ファイバとを含み、何れがラマン増幅用光ファイバであってもよい。複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれは、励起光供給手段によりラマン増幅用励起光が供給され、信号光を伝送するとともに該信号光をラマン増幅する。特に、本発明の光通信システムでは、複数のラマン増幅用光ファイバのうちの何れか2つのラマン増幅用光ファイバについて、ラマン増幅の利得が最大となる波長、ラマン増幅の利得が極大となる波長の数、および、対応する励起光供給手段に含まれる励起光源の数のうち、何れかが異なっている。このようにすることにより、各ラマン増幅用光ファイバにおけるラマン増幅の利得スペクトルは信号光波長帯域内で平坦ではなくとも、第1地点から第2地点に到るまでの光伝送路の全体におけるラマン増幅の利得スペクトルは信号光波長帯域内で平坦なものとすることができる。そして、本発明の光通信システムでは、システム全体で必要となる励起光源の総数を、文献1に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較して少なくすることができ、システムコストを低減することができる。また、本発明の光通信システムでは、利得等化器により信号光を減衰させて利得平坦化を図るものではないので、文献2に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較すると、励起効率が優れる。

【0012】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0013】

(第1の実施形態)

まず、本発明に係る光通信システムの第1の実施形態について説明する。図1は、第1の実施形態に係る光通信システム1の概略構成図である。この光通信システム1は、信号光波長帯域内の信号光を送信器（または中継器）10から受信器（または中継器）20へ送信するものであり、その信号光の伝送経路上にM個（ $M \geq 2$ ）の中継器 $30_1 \sim 30_M$ が順に設けられている。送信器10と中継器 30_1 との間の中継区間に光ファイバ 40_1 が敷設されており、中継器 30_m と中継器 30_{m+1} との間の中継区間に光ファイバ 40_{m+1} が敷設されており（ $1 \leq m < M$ ）、中継器 30_M と受信器20との間の中継区間に光ファイバ 40_{M+1} が敷設されている。

【0014】

送信器10から受信器20へ信号光を伝送する光伝送路は、各中継区間に敷設された光ファイバ $40_1 \sim 40_{M+1}$ だけでなく、中継器 $30_1 \sim 30_M$ それぞれの内部にある光ファイバをも含む。そして、この光通信システム1では、送信器10から送出された信号光は、途中に中継器 $30_1 \sim 30_M$ を経て光ファイバ $40_1 \sim 40_{M+1}$ を順に伝送されて受信器20に到達し、受信器20により受信される。

【0015】

この光通信システム1の光伝送路は、ラマン増幅用励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅する複数のラマン増幅用光ファイバを含む。例えば、信号光が含まれる信号光波長帯域は $1.55 \mu\text{m}$ 帯であり、ラマン増幅用励起光の波長帯域は $1.45 \mu\text{m}$ 帯である。ラマン増幅用光ファイバは、各中継区間に敷設された光ファイバ $40_1 \sim 40_{M+1}$ および中継器 $30_1 \sim 30_M$ それぞれの内部にある光ファイバの何れであってもよいし双方であってもよい。本実施形態では、中継器 $30_1 \sim 30_M$ それぞれの内部にある光ファイバがラマン増幅用光ファイバとして用いられる。

【 0 0 1 6 】

図 2 は、第 1 の実施形態に係る光通信システム 1 の中継器 3 0 の 1 構成例を示すブロック図である。この図に示す中継器 3 0 は、第 1 図に示した中継器 3 0₁ ~ 3 0_M の何れとしても用いられる。中継器 3 0 は、光ファイバ 3 1₁、3 1₂、K 個 (K ≥ 1) の励起光源 3 2₁ ~ 3 2_K、光合波器 3 3 および光カプラ 3 4 を含む。光ファイバ 3 1₁、光カプラ 3 4 および光ファイバ 3 1₂ は、この順に入力端 3 0 a と出力端 3 0 b との間の信号光経路上に設けられている。なお、光ファイバ 3 1₁ は、入力端 3 0 a と光カプラ 3 4 との間で信号光およびラマン増幅用励起光を伝送するものであって、ラマン増幅用光ファイバとして用いられ、長尺である。

【 0 0 1 7 】

励起光源 3 2₁ ~ 3 2_K それぞれは、例えば半導体レーザ光源であって、出力する光の中心波長が互いに異なる。光合波器 3 3 は、励起光源 3 2₁ ~ 3 2_K それぞれから出力された光を合波して、その合波したものをラマン増幅用励起光として光カプラ 3 4 へ出力する。光カプラ 3 4 は、光合波器 3 3 から出力されたラマン増幅用励起光を光ファイバ 3 1₁ へ導入するとともに、光ファイバ 3 1₁ から入力した信号光を光ファイバ 3 1₂ へ出力する。

【 0 0 1 8 】

すなわち、この中継器 3 0 では、光ファイバ 3 1₁ は、ラマン増幅用励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅するラマン増幅用光ファイバとして用いられる。また、励起光源 3 2₁ ~ 3 2_K、光合波器 3 3 および光カプラ 3 4 は、ラマン増幅用光ファイバである光ファイバ 3 1₁ にラマン増幅用励起光を供給する励起光供給手段として用いられる。入力端 3 0 a に入力した信号光は、光ファイバ 3 1₁ を伝送される際にラマン増幅され、光カプラ 3 4 および光ファイバ 3 1₂ を経て、出力端 3 0 b から出力される。

【 0 0 1 9 】

図 3 は、第 1 の実施形態に係る光通信システム 1 におけるラマン増幅用励起光のスペクトルおよび利得スペクトルの 1 例を説明する図である。また、図 4 は、第 1 の実施形態に係る光通信システム 1 におけるラマン増幅用励起光のスペクト

ルおよび利得スペクトルの他の例を説明する図である。何れの図でも、第 m 段の中継器 30_m の第 k 番目の励起光源 32_k が出力する光の中心波長を λ_{mk} と表している ($1 \leq m \leq M$, $1 \leq k \leq K$)。

【0020】

各図 (a) は、第 1 段の中継器 30_1 におけるラマン増幅用励起光のスペクトル (すなわち、波長 $\lambda_{11} \sim \lambda_{1K}$ の光のパワー) を示す。各図 (b) は、第 2 段の中継器 30_2 におけるラマン増幅用励起光のスペクトル (すなわち、波長 $\lambda_{21} \sim \lambda_{2K}$ の光のパワー) を示す。また、各図 (c) は、第 M 段の中継器 30_M におけるラマン増幅用励起光のスペクトル (すなわち、波長 $\lambda_{M1} \sim \lambda_{MK}$ の光のパワー) を示す。

【0021】

各図 (d) は、第 1 段の中継器 30_1 の光ファイバ 31_1 におけるラマン増幅の利得スペクトルを示す。各図 (e) は、第 2 段の中継器 30_2 の光ファイバ 31_1 におけるラマン増幅の利得スペクトルを示す。各図 (f) は、第 M 段の中継器 30_M の光ファイバ 31_1 におけるラマン増幅の利得スペクトルを示す。また、各図 (g) は、送信器 10 から受信器 20 に到るまでの光伝送路の全体におけるラマン増幅の利得スペクトルを示す。

【0022】

例えば、各図 (a) ~ (c) に示すように、各波長 λ_{mk} の間の関係として、 $\lambda_{m+1,k} - \lambda_{mk}$ の値がパラメータ k の値によらず略一定であるようにする ($1 \leq m < M$, $1 \leq k \leq K$)。また、波長 λ_{mk} それぞれの光のパワーがパラメータ m によらず略一定であるようにする ($1 \leq m \leq M$, $1 \leq k \leq K$)。このとき、各図 (d) ~ (f) に示すように、第 m 段の中継器 30_m の光ファイバ 31_1 におけるラマン増幅の利得スペクトルは、信号光波長帯域内において必ずしも平坦でなくてもよく、互いに同一でなく、波長軸方向にシフトしたものになる ($1 \leq m \leq M$)。

【0023】

図 3 (a) ~ (c) に示すように、第 m 段の中継器 30_m におけるラマン増幅用励起光の波長帯域 $\lambda_{m1} \sim \lambda_{mK}$ と、第 $m+1$ 段の中継器 30_{m+1} におけるラマン増幅用励起光の波長帯域 $\lambda_{m+1,1} \sim \lambda_{m+1,K}$ とは、互いに一部が重なるようにして

もよい ($1 \leq m < M$)。この場合には、図 3 (d) ~ (f) に示すように、各段の中継器は信号光波長帯域内の殆どの範囲で利得を有する。また、図 4 (a) ~ (c) に示すように、第 m 段の中継器 3 0_m におけるラマン増幅用励起光の波長帯域 $\lambda_{m1} \sim \lambda_{mK}$ より、第 $m+1$ 段の中継器 3 0_{m+1} におけるラマン増幅用励起光の波長帯域 $\lambda_{m+1,1} \sim \lambda_{m+1,K}$ が長波長側に位置するようにしてもよい ($1 \leq m < M$)。この場合には、図 4 (d) ~ (f) に示すように、各段の中継器は信号光波長帯域内の一部の範囲で利得を有する。

【 0 0 2 4 】

そして、各図 (g) に示すように、送信器 1 0 から受信器 2 0 に到るまでの光伝送路の全体におけるラマン増幅の利得スペクトルは、各段の中継器 3 0_m ($1 \leq m \leq M$) におけるラマン増幅の利得スペクトルを総合したものになる。このとき、光伝送路の全体の利得スペクトルを信号光波長帯域内において平坦なものとする。例えば、波長 $1.55 \mu m$ を含み幅 $15 nm$ 以上の信号光波長帯域において、この信号光波長帯域内において光伝送路の全体の利得の偏差を $\pm 1.5 dB$ 以下とする。

【 0 0 2 5 】

光伝送路の全体の利得スペクトルを信号光波長帯域内において平坦なものとするには、各段の中継器 3 0_m の各励起光源 3 2_k の出力中心波長 λ_{mk} および出力パワーを適切に設定する ($1 \leq m \leq M$ 、 $1 \leq k \leq K$)。また、このとき、光伝送路上の全ての地点において非線形光学現象の発生が抑制され得る信号光のパワーとなるように、各段の中継器 3 0_m の各励起光源 3 2_k の出力中心波長 λ_{mk} および出力パワーを適切に設定するのが好適である。

【 0 0 2 6 】

従来の技術の欄に挙げた文献 1 または文献 2 に記載されたラマン増幅器を採用する場合と比較すると、本実施形態に係る光通信システムは以下のような効果を奏する。すなわち、文献 1 に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合には、 M 段の中継器それぞれにおいて N 個の励起光源を用いて信号光波長帯域におけるラマン増幅の利得スペクトルを平坦なものとしていることから、光通信システムの全体で必要となる励起光源の総数は $M \times N$ である。これに対して、本実

施形態に係る光通信システムでは、光伝送路の全体の利得スペクトルを信号光波長帯域内において平坦なものとするものの、M段の中継器それぞれにおける利得スペクトルは信号光波長帯域内において必ずしも平坦でなくてもよく互いに同一でない。本実施形態では、M段の中継器それぞれに必要な励起光源の個数Kを上記N未満とすることができ、光通信システムの全体で必要となる励起光源の総数 $M \times K$ を、文献1に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較して少なくすることができる。したがって、本実施形態に係る光通信システムはコストが安い。また、本実施形態では、利得等化器により信号光を減衰させて利得平坦化を図るものではないので、文献2に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較すると、励起効率が優れる。

【0027】

なお、以上の説明では、第m段の中継器30_mにおけるラマン増幅の利得が最大となる波長が互いに異なるものとしたが、第m段の中継器30_mにおけるラマン増幅の利得が極大となる波長の数が互いに異なるようにしてもよいし、或いは、第m段の中継器30_mに含まれる励起光源の数を互いに異なるようにしてもよい。これら何れの場合にも、各ラマン増幅用光ファイバにおけるラマン増幅の利得スペクトルは信号光波長帯域内で平坦ではなくとも、送信器10から受信器20に到るまでの光伝送路の全体におけるラマン増幅の利得スペクトルは信号光波長帯域内で平坦なものとすることができる。そして、光通信システム1では、システム全体で必要となる励起光源の総数を、文献1に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較して少なくすることができる。また、光通信システム1では、利得等化器により信号光を減衰させて利得平坦化を図るものではないので、文献2に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較すると、励起効率が優れる。

【0028】

また、光通信システム1では、何れか2つのラマン増幅用光ファイバそれぞれのラマン増幅の利得スペクトルの差の絶対値を波長について積分した値が7.5 dB・nm以上であるのが好適であり、15.0 dB・nm以上であれば更に好適である。図5は、本実施形態に係る光通信システムに含まれる2つのラマン増

幅用光ファイバそれぞれの利得スペクトルを示す図である。この図におけるハッチング領域の面積が、2つのラマン増幅用光ファイバそれぞれのラマン増幅の利得スペクトルの差の絶対値を波長について積分した値を表している。この値が7.5 dB・nm以上（好適には15.0 dB・nm以上）であれば、システム全体で必要となる励起光源の総数を、文献1に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較して少なくする上で好適である。

【0029】

（第2の実施形態）

次に、本発明に係る光通信システムの第2の実施形態について説明する。第2の実施形態に係る光通信システムの概略構成は、図1に示したものと同様である。本実施形態では、各中継区間に敷設された光ファイバ $40_1 \sim 40_{M+1}$ がラマン増幅用光ファイバとして用いられる。

【0030】

図6は、第2の実施形態に係る光通信システムの中継器 30_m の1構成例を示すブロック図である。この図に示す中継器 30_m は、第1図に示した中継器 $30_1 \sim 30_M$ の何れとしても用いられる。中継器 30_m は、光ファイバ $31_1 \sim 31_3$ 、 K 個（ $K \geq 1$ ）の励起光源 $32_1 \sim 32_K$ 、光合波器33、光カップラ 34_1 、 34_2 、および光分岐器35を含む。光ファイバ 31_1 、光カップラ 34_1 、光ファイバ 31_2 、光カップラ 34_2 および光ファイバ 31_3 は、この順に入力端 $30a$ と出力端 $30b$ との間の信号光経路上に設けられている。なお、光ファイバ 31_1 は、入力端 $30a$ と光カップラ 34_1 との間で信号光およびラマン増幅用励起光を伝送するものであって、短尺である。同様に、光ファイバ 31_3 は、出力端 $30b$ と光カップラ 34_2 との間で信号光およびラマン増幅用励起光を伝送するものであって、短尺である。

【0031】

励起光源 $32_1 \sim 32_K$ それぞれは、例えば半導体レーザ光源であって、出力する光の中心波長が互いに異なる。光合波器33は、励起光源 $32_1 \sim 32_K$ それぞれから出力された光を合波して、その合波したものをラマン増幅用励起光として光分岐器35へ出力する。光分岐器35は、光合波器33から出力されたラマン

増幅用励起光を2分岐して、2分岐したうちの一方を光カプラ 34_1 へ出力し、他方を光カプラ 34_2 へ出力する。光カプラ 34_1 は、光分岐器35から出力された一方のラマン増幅用励起光を光ファイバ 31_1 および入力端30aを経て光ファイバ 40_m へ導入するとともに、光ファイバ 31_1 から入力した信号光を光ファイバ 31_2 へ出力する。また、光カプラ 34_2 は、光分岐器35から出力された他方のラマン増幅用励起光を光ファイバ 31_3 および出力端30bを経て光ファイバ 40_{m+1} へ導入するとともに、光ファイバ 31_2 から入力した信号光を光ファイバ 31_3 へ出力する。

【0032】

すなわち、このような構成の中継器 $30_1 \sim 30_M$ が設けられた光通信システムでは、各中継区間に敷設された光ファイバ $40_1 \sim 40_{M+1}$ は、ラマン増幅用励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅するラマン増幅用光ファイバとして用いられる。また、中継器 30_m 内の励起光源 $32_1 \sim 32_K$ 、光合波器33、光カプラ 34_1 、 34_2 、および光分岐器35は、ラマン増幅用光ファイバである光ファイバ 40_m および光ファイバ 40_{m+1} それぞれにラマン増幅用励起光を供給する励起光供給手段として用いられる ($1 \leq m \leq M$)。

【0033】

本実施形態に係る光通信システムでは、送信器10と第1段の中継器 30_1 との間の中継区間の光ファイバ 40_1 には、中継器 30_1 からラマン増幅用励起光が供給される。第M段の中継器 30_M と受信器20との間の中継区間の光ファイバ 40_{M+1} には、中継器 30_M からラマン増幅用励起光が供給される。中継器 30_{m-1} と中継器 30_m との間の中継区間の光ファイバ 40_m には、中継器 30_{m-1} からラマン増幅用励起光が供給されるとともに、中継器 30_m からもラマン増幅用励起光が供給される ($1 < m < M+1$)。なお、光ファイバ 40_1 には送信器10からもラマン増幅用励起光が供給されるようにしてもよいし、また、光ファイバ 40_{M+1} には受信器20からもラマン増幅用励起光が供給されるようにしてもよい。

【0034】

送信器10から送出された信号光は、途中に中継器 $30_1 \sim 30_M$ を経て光ファ

ファイバ $40_1 \sim 40_{M+1}$ を順に伝送されて受信器 20 に到達し、受信器 20 により受信される。各中継区間の光ファイバ 40_m を伝送される際に、信号光は、光ファイバ 40_m の固有の伝送損失に因り損失を被るもののラマン増幅されるので、実質的な損失が小さく或いは利得を有する ($1 \leq m \leq M+1$)。

【0035】

第2の実施形態に係る光通信システムにおけるラマン増幅用励起光のスペクトルおよび利得スペクトルの1例は、図3および第4それぞれに示したものと略同様である。ただし、第2の実施形態では、各中継区間に敷設された光ファイバ 40_m におけるラマン増幅の利得スペクトルが、図3 (d) ~ (f) または図4 (d) ~ (f) に示すように、信号光波長帯域内において必ずしも平坦でなくともよく、互いに同一でなく、波長軸方向にシフトしたものになる ($1 \leq m \leq M+1$)。

【0036】

そして、図3 (g) または図4 (g) に示すように、送信器 10 から受信器 20 に到るまでの光伝送路の全体におけるラマン増幅の利得スペクトルは、各中継区間に敷設された光ファイバ 40_m ($1 \leq m \leq M+1$) におけるラマン増幅の利得スペクトルを総合したものになる。このとき、光伝送路の全体の利得スペクトルを信号光波長帯域内において平坦なものとする。例えば、波長 $1.55 \mu m$ を含み幅 $15 nm$ 以上の信号光波長帯域において、この信号光波長帯域内において光伝送路の全体の利得の偏差を $\pm 1.5 dB$ 以下とする。

【0037】

光伝送路の全体の利得スペクトルを信号光波長帯域内において平坦なものとするには、各段の中継器 30_m の各励起光源 32_k の出力中心波長 λ_{mk} および出力パワーを適切に設定する ($1 \leq m \leq M$, $1 \leq k \leq K$)。また、このとき、光伝送路上の全ての地点において非線形光学現象の発生が抑制され得る信号光のパワーとなるように、各段の中継器 30_m の各励起光源 32_k の出力中心波長 λ_{mk} および出力パワーを適切に設定するのが好適である。

【0038】

本実施形態に係る光通信システムは、第1の実施形態の場合と略同様の効果を

奏する。すなわち、本実施形態に係る光通信システムでは、光伝送路の全体の利得スペクトルを信号光波長帯域内において平坦なものとするものの、各中継区間に敷設された光ファイバそれぞれにおける利得スペクトルは信号光波長帯域内において必ずしも平坦でなくてもよく互いに同一でない。本実施形態では、M段の中継器それぞれで必要な励起光源の個数Kを従来値N未満とすることができ、光通信システムの全体で必要となる励起光源の総数 $M \times K$ を、文献1に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較して少なくすることができる。したがって、本実施形態に係る光通信システムはコストが安い。また、本実施形態では、利得等化器により信号光を減衰させて利得平坦化を図るものではないので、文献2に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較すると、励起効率が優れる。さらに、各中継器内にラマン増幅用光ファイバを設ける第1の実施形態の場合と比較すると、本実施形態に係る光通信システムでは、各中継区間に敷設された光ファイバにおいて信号光をラマン増幅するので、送信器10から受信器20へ到るまでの信号光の伝送経路長が短く、固有の伝送損失が小さい。

【0039】

なお、以上の説明でも、各中継区間に敷設された光ファイバ40_mにおけるラマン増幅の利得が最大となる波長が互いに異なるものとしたが、光ファイバ40_mにおけるラマン増幅の利得が極大となる波長の数が互いに異なるようにしてもよいし、或いは、第m段の中継器30_mに含まれる励起光源の数を互いに異なるようにしてもよい。これら何れの場合にも、各ラマン増幅用光ファイバ10_mにおけるラマン増幅の利得スペクトルは信号光波長帯域内で平坦ではなくとも、送信器10から受信器20に到るまでの光伝送路の全体におけるラマン増幅の利得スペクトルは信号光波長帯域内で平坦なものとすることができる。そして、光通信システム1では、システム全体で必要となる励起光源の総数を、文献1に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較して少なくすることができる。また、光通信システム1では、利得等化器により信号光を減衰させて利得平坦化を図るものではないので、文献2に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較すると、励起効率が優れる。

【0 0 4 0】

また、この光通信システム1でも、何れか2つのラマン増幅用光ファイバそれぞれのラマン増幅の利得スペクトルの差の絶対値を波長について積分した値が7.5 dB・nm以上であるのが好適であり、15.0 dB・nm以上であれば更に好適である。この値が7.5 dB・nm以上（好適には15.0 dB・nm以上）であれば、システム全体で必要となる励起光源の総数を、文献1に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較して少なくする上で好適である。

【0 0 4 1】

(第3の実施形態)

次に、本発明に係る光通信システムの第3の実施形態について説明する。第3の実施形態に係る光通信システムの概略構成は、図1に示したものと同様である。本実施形態では、各中継区間に敷設された光ファイバ $40_1 \sim 40_M$ がラマン増幅用光ファイバとして用いられる。

【0 0 4 2】

図7は、第3の実施形態に係る光通信システムの中継器 30_m の1構成例を示すブロック図である。この図に示す中継器 30_m は、第1図に示した中継器 $30_1 \sim 30_M$ の何れとしても用いられる。中継器 30_m は、光ファイバ $31_1 \sim 31_3$ 、K個 ($K \geq 1$) の励起光源 $32_1 \sim 32_K$ 、光合波器33、光カプラ34およびEr元素添加光ファイバ増幅器36を含む。光ファイバ 31_1 、光カプラ34、光ファイバ 31_2 、Er元素添加光ファイバ増幅器36および光ファイバ 31_3 は、この順に入力端30aと出力端30bとの間の信号光経路上に設けられている。なお、光ファイバ 31_1 は、入力端30aと光カプラ34との間で信号光およびラマン増幅用励起光を伝送するものであって、短尺である。

【0 0 4 3】

励起光源 $32_1 \sim 32_K$ それぞれは、例えば半導体レーザ光源であって、出力する光の中心波長が互いに異なる。光合波器33は、励起光源 $32_1 \sim 32_K$ それぞれから出力された光を合波して、その合波したものをラマン増幅用励起光として光カプラ34へ出力する。光カプラ34は、光合波器33から出力されたラマン

増幅用励起光を光ファイバ 31_1 および入力端 $30a$ を経て光ファイバ 40_m へ導入するとともに、光ファイバ 31_1 から入力した信号光を光ファイバ 31_2 へ出力する。また、Er元素添加光ファイバ増幅器 36 は、Er元素が光導波領域に添加された光ファイバを光増幅媒体として用い、このEr元素添加光ファイバに励起光（波長 $0.98\mu m$ または $1.48\mu m$ ）を供給することにより、このEr元素添加光ファイバを伝送される信号光（波長 $1.55\mu m$ 帯または $1.58\mu m$ 帯）を光増幅するものである。このEr元素添加光ファイバ増幅器 36 は、光ファイバ 31_2 から入力した信号光を光増幅して光ファイバ 31_3 へ出力する。

【0044】

すなわち、このような構成の中継器 $30_1 \sim 30_M$ が設けられた光通信システムでは、各中継区間に敷設された光ファイバ $40_1 \sim 40_M$ は、ラマン増幅用励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅するラマン増幅用光ファイバとして用いられる。また、中継器 30_m 内の励起光源 $32_1 \sim 32_K$ 、光合波器 33 および光カプラ 34 は、ラマン増幅用光ファイバである光ファイバ 40_m にラマン増幅用励起光を供給する励起光供給手段として用いられる（ $1 \leq m \leq M$ ）。

【0045】

本実施形態に係る光通信システムでは、送信器 10 と第1段の中継器 30_1 との間の中継区間の光ファイバ 40_1 には、中継器 30_1 からラマン増幅用励起光が供給される。中継器 30_{m-1} と中継器 30_m との間の中継区間の光ファイバ 40_m には、中継器 30_m からラマン増幅用励起光が供給される（ $1 < m \leq M$ ）。なお、第M段の中継器 30_M と受信器 20 との間の中継区間の光ファイバ 40_{M+1} には、受信器 20 からラマン増幅用励起光が供給されるようにしてもよい。

【0046】

送信器 10 から送出された信号光は、途中に中継器 $30_1 \sim 30_M$ を経て光ファイバ $40_1 \sim 40_{M+1}$ を順に伝送されて受信器 20 に到達し、受信器 20 により受信される。各中継区間の光ファイバ 40_m を伝送される際に、信号光は、光ファイバ 40_m の固有の伝送損失に因り損失を被るもののラマン増幅されるので、実質的な損失が小さく或いは利得を有する（ $1 \leq m \leq M$ ）。

【0047】

第 3 の実施形態に係る光通信システムにおけるラマン増幅用励起光のスペクトルおよび利得スペクトルの 1 例は、図 3 および第 4 それぞれに示したものと略同様である。ただし、第 3 の実施形態では、各中継区間に敷設された光ファイバ 40_m におけるラマン増幅の利得スペクトルが、図 3 (d) ~ (f) または図 4 (d) ~ (f) に示すように、信号光波長帯域内において必ずしも平坦でなくともよく、互いに同一でなく、波長軸方向にシフトしたものになる ($1 \leq m \leq M$)。

【 0 0 4 8 】

そして、図 3 (g) または図 4 (g) に示すように、送信器 10 から受信器 20 に到るまでの光伝送路の全体におけるラマン増幅の利得スペクトルは、各中継区間に敷設された光ファイバ 40_m ($1 \leq m \leq M$) におけるラマン増幅の利得スペクトルを総合したものになる。このとき、光伝送路の全体の利得スペクトルを信号光波長帯域内において平坦なものとする。例えば、波長 $1.55 \mu m$ を含む幅 $15 nm$ 以上の信号光波長帯域において、この信号光波長帯域内において光伝送路の全体の利得の偏差を $\pm 1.5 dB$ 以下とする。

【 0 0 4 9 】

光伝送路の全体の利得スペクトルを信号光波長帯域内において平坦なものとするには、各段の中継器 30_m の各励起光源 32_k の出力中心波長 λ_{mk} および出力パワーを適切に設定する ($1 \leq m \leq M$, $1 \leq k \leq K$)。また、このとき、光伝送路上の全ての地点において非線形光学現象の発生が抑制され得る信号光のパワーとなるように、各段の中継器 30_m の各励起光源 32_k の出力中心波長 λ_{mk} および出力パワーを適切に設定するのが好適である。

【 0 0 5 0 】

本実施形態に係る光通信システムは、第 2 の実施形態の場合と略同様の効果を奏する他、以下のような効果をも奏する。すなわち、本実施形態に係る光通信システムでは、ラマン増幅器に加えて各中継器内に E_r 元素添加光ファイバ増幅器をも備えていことから、例えば、 E_r 元素添加光ファイバ増幅器により波長 $1.55 \mu m$ 帯および波長 $1.58 \mu m$ 帯の信号光を光増幅する一方で、ラマン増幅器により波長 $1.45 \mu m$ 帯の信号光を光増幅することにより、広い信号光波長帯域で光通信を行うことができる。

【 0 0 5 1 】

(実施例)

次に、本発明に係る光通信システムの実施例について比較例とともに説明する。本実施例の光通信システムでは、各々の長さが 5 0 k m である 2 本のシングルモード光ファイバ A および B が接続されて敷設されており、光ファイバ A および B それぞれが後方向励起されるものとする。

【 0 0 5 2 】

比較例では、光ファイバ A および B それぞれへ供給されるラマン増幅用励起光は、共に、7 つの半導体レーザ光源から出力されたレーザ光を合波したものであった。第 1 の半導体レーザ光源は波長 1 4 2 0 n m (パワー 2 1 . 0 0 d B m) のレーザ光を出力するものであり、第 2 の半導体レーザ光源は波長 1 4 2 5 n m (パワー 1 9 . 3 8 d B m) のレーザ光を出力するものであり、第 3 の半導体レーザ光源は波長 1 4 3 0 n m (パワー 1 9 . 4 0 d B m) のレーザ光を出力するものであり、第 4 の半導体レーザ光源は波長 1 4 3 5 n m (パワー 1 8 . 5 5 d B m) のレーザ光を出力するものであり、第 5 の半導体レーザ光源は波長 1 4 4 0 n m (パワー 1 3 . 9 9 d B m) のレーザ光を出力するものであり、第 6 の半導体レーザ光源は波長 1 4 5 0 n m (パワー 2 0 . 2 1 d B m) のレーザ光を出力するものであり、第 7 の半導体レーザ光源は波長 1 4 6 0 n m (パワー 2 3 . 3 4 d B m) のレーザ光を出力するものであった。この比較例ではシステム全体で 1 4 個の半導体レーザ光源が用いられた。

【 0 0 5 3 】

実施例では、光ファイバ A へ供給されるラマン増幅用励起光は、4 つの半導体レーザ光源から出力されたレーザ光を合波したものであった。この 4 つの半導体レーザ光源のうち、第 1 の半導体レーザ光源は波長 1 4 2 0 n m (パワー 2 2 . 7 5 9 8 d B m) のレーザ光を出力するものであり、第 2 の半導体レーザ光源は波長 1 4 3 0 n m (パワー 2 2 . 8 1 3 8 d B m) のレーザ光を出力するものであり、第 3 の半導体レーザ光源は波長 1 4 4 0 n m (パワー 1 8 . 7 5 4 8 d B m) のレーザ光を出力するものであり、第 4 の半導体レーザ光源は波長 1 4 6 0 n m (パワー 2 4 . 5 8 6 6 d B m) のレーザ光を出力するものであった。一方

、光ファイバBへ供給されるラマン増幅用励起光は、5つの半導体レーザ光源から出力されたレーザ光を合波したものであった。この5つの半導体レーザ光源のうち、第1の半導体レーザ光源は波長1420nm（パワー16.9601dBm）のレーザ光を出力するものであり、第2の半導体レーザ光源は波長1425nm（パワー21.6249dBm）のレーザ光を出力するものであり、第3の半導体レーザ光源は波長1435nm（パワー21.5071dBm）のレーザ光を出力するものであり、第4の半導体レーザ光源は波長1450nm（パワー18.4999dBm）のレーザ光を出力するものであり、第5の半導体レーザ光源は波長1460nm（パワー23.1174dBm）のレーザ光を出力するものであった。この実施例ではシステム全体で9個の半導体レーザ光源が用いられた。

【0054】

図8は、比較例における光ファイバAのラマン増幅の利得スペクトルを示す図であり、図9は、比較例における光ファイバAおよびBからなる光伝送路の全体のラマン増幅の利得スペクトルを示す図である。図10は、実施例における光ファイバAのラマン増幅の利得スペクトルを示す図であり、図11は、実施例における光ファイバAおよびBからなる光伝送路の全体のラマン増幅の利得スペクトルを示す図である。光ファイバAのラマン増幅の利得スペクトルは、7個の半導体レーザ光源からラマン増幅用励起光が供給された比較例では平坦である（図8）のに対して、4個の半導体レーザ光源からラマン増幅用励起光が供給された実施例では平坦でなかった（図10）。しかし、光ファイバAおよびBからなる光伝送路の全体のラマン増幅の利得スペクトルは、システム全体で14個の半導体レーザ光源が用いられた比較例（図9）と、システム全体で9個の半導体レーザ光源が用いられた実施例（図11）とで、同程度の平坦さ（偏差±0.1dB程度）が得られた。このように、実施例では、比較例と同程度の利得スペクトルの平坦さを確保しつつ、励起光源の数を比較例より少なくすることができた。

【0055】

（変形例）

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく種々の変形が可能である。

例えば、第 1 の実施形態における中継器（図 2）において、光カプラ 3 4 と出力端 3 0 b との間に E r 元素添加光ファイバ増幅器を設けてもよい。この場合には、第 3 の実施形態の場合と同様に、広い信号光波長帯域で光通信を行うことができる。

【 0 0 5 6 】

また、第 1 ～第 3 の実施形態それぞれにおいては、各々のラマン増幅用光ファイバにおける利得スペクトルを調整するために、ラマン増幅用励起光のスペクトル（各励起光源の出力中心波長および出力パワー）を調整することとした。しかし、各々のラマン増幅用光ファイバの長さや特性を調整することにより、各々のラマン増幅用光ファイバにおける利得スペクトルを調整するようにしてもよい。

【 0 0 5 7 】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、第 1 地点（送信器または中継器）から送出された信号光波長帯域内の信号光は、複数のラマン増幅用光ファイバを含む光伝送路を伝搬して、第 2 地点（受信器または中継器）まで到達する。複数のラマン増幅用光ファイバそれぞれは、励起光供給手段によりラマン増幅用励起光が供給され、信号光を伝送するとともに該信号光をラマン増幅する。特に、本発明では、複数のラマン増幅用光ファイバのうちの何れか 2 つのラマン増幅用光ファイバについて、ラマン増幅の利得が最大となる波長、ラマン増幅の利得が極大となる波長の数、および、対応する励起光供給手段に含まれる励起光源の数のうち、何れかが異なっている。このようにすることにより、各ラマン増幅用光ファイバにおけるラマン増幅の利得スペクトルは信号光波長帯域内で平坦ではなくとも、第 1 地点から第 2 地点に到るまでの光伝送路の全体におけるラマン増幅の利得スペクトルは信号光波長帯域内で平坦なものとすることができる。そして、本発明では、システム全体で必要となる励起光源の総数を、文献 1 に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較して少なくすることができ、システムコストを低減することができる。また、本発明では、利得等化器により信号光を減衰させて利得平坦化を図るものではないので、文献 2 に記載されたラマン増幅器を各中継器で採用する場合と比較すると、励起効率が優れる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第 1 の実施形態に係る光通信システムの概略構成図である。

【図 2】

第 1 の実施形態に係る光通信システムの中継器の 1 構成例を示すブロック図である。

【図 3】

第 1 の実施形態に係る光通信システムにおけるラマン増幅用励起光のスペクトルおよび利得スペクトルの 1 例を説明する図である。

【図 4】

第 1 の実施形態に係る光通信システムにおけるラマン増幅用励起光のスペクトルおよび利得スペクトルの他の例を説明する図である。

【図 5】

本実施形態に係る光通信システムに含まれる 2 つのラマン増幅用光ファイバそれぞれの利得スペクトルを示す図である。

【図 6】

第 2 の実施形態に係る光通信システムの中継器の 1 構成例を示すブロック図である。

【図 7】

第 3 の実施形態に係る光通信システムの中継器の 1 構成例を示すブロック図である。

【図 8】

比較例における光ファイバ A のラマン増幅の利得スペクトルを示す図である。

【図 9】

比較例における光ファイバ A および B からなる光伝送路の全体のラマン増幅の利得スペクトルを示す図である。

【図 1 0】

実施例における光ファイバ A のラマン増幅の利得スペクトルを示す図である。

【図 1 1】

実施例における光ファイバ A および B からなる光伝送路の全体のラマン増幅の利得スペクトルを示す図である。

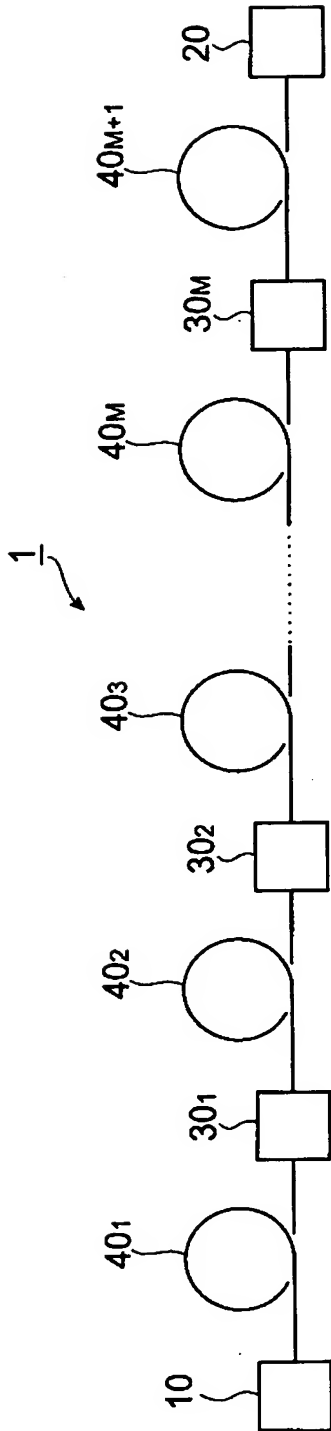
【符号の説明】

1 … 光通信システム、1 0 … 送信器、2 0 … 受信器、3 0 … 中継器、3 1 … 光ファイバ、3 2 … 励起光源、3 3 … 光合波器、3 4 … 光カップラ、3 5 … 光分岐器、3 6 … E r 元素添加光ファイバ増幅器、4 0 … 光ファイバ。

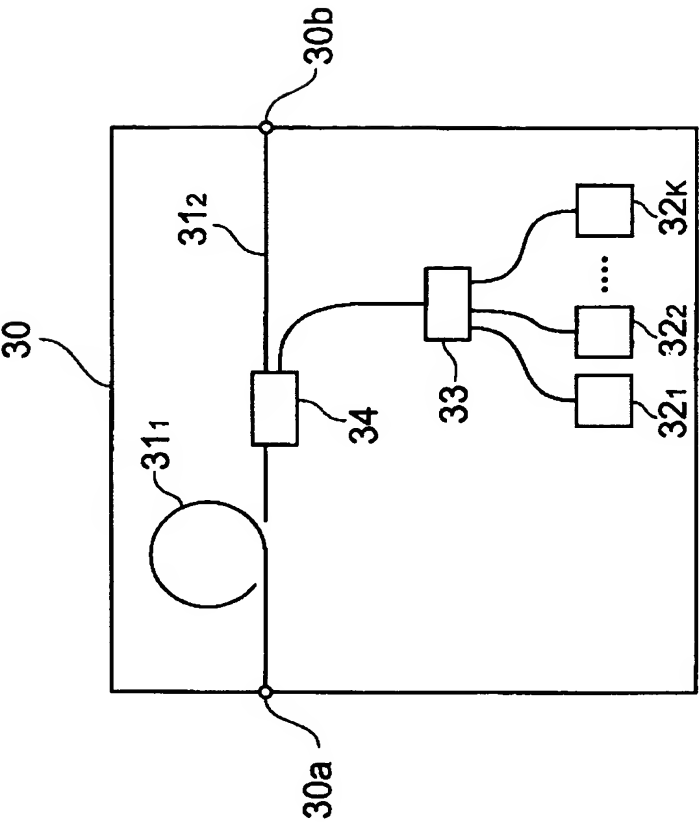
【書類名】

図面

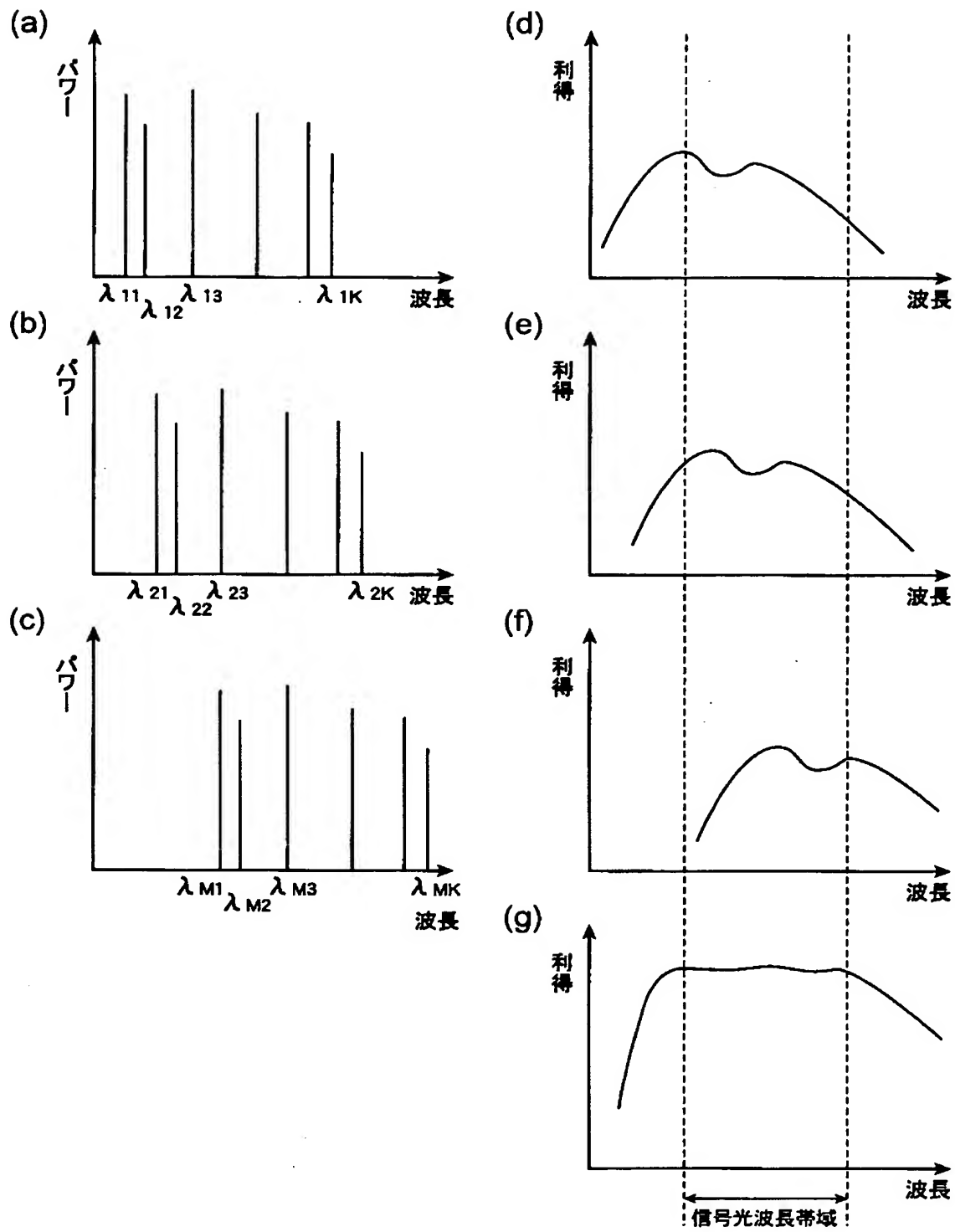
【図 1】



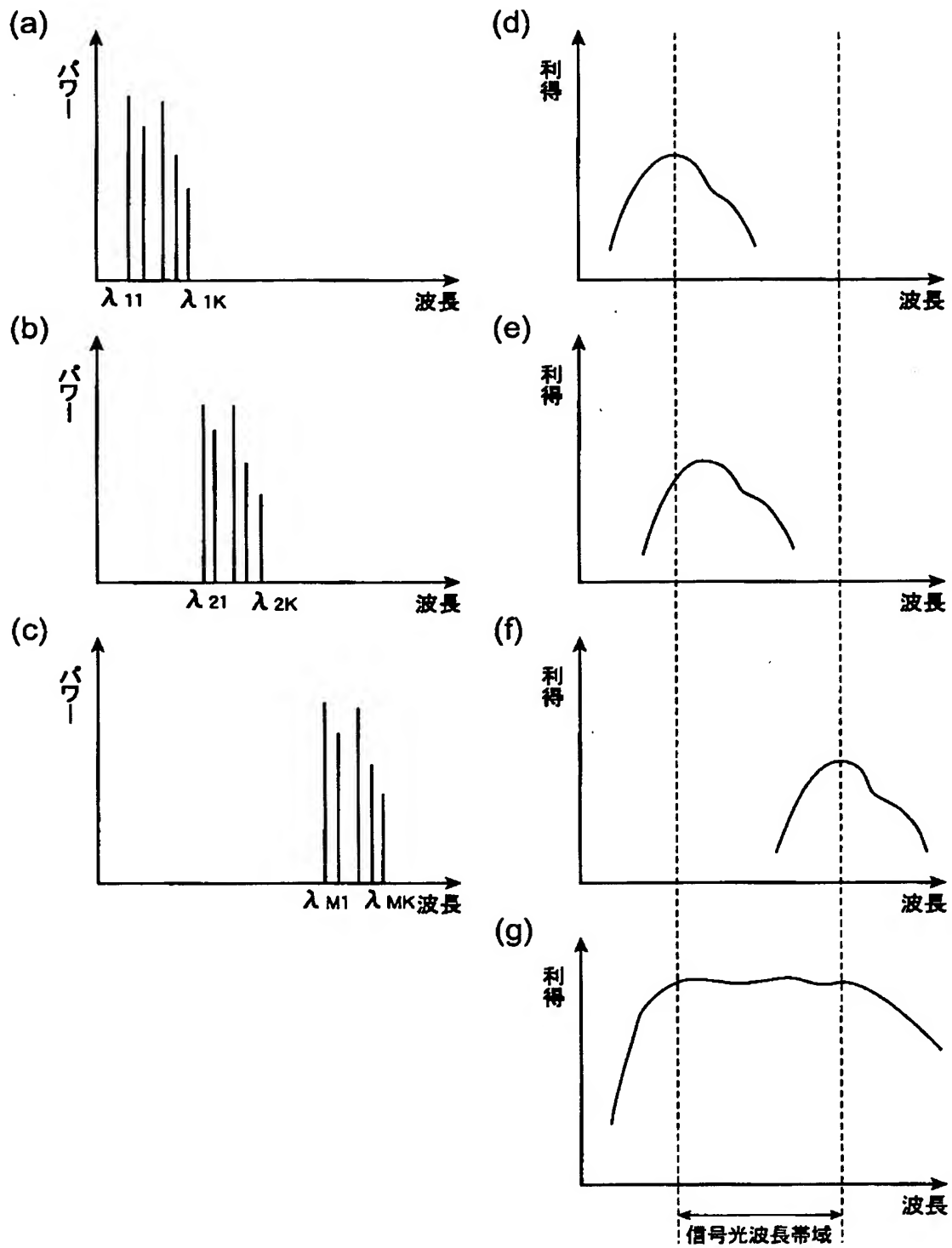
【 図 2 】



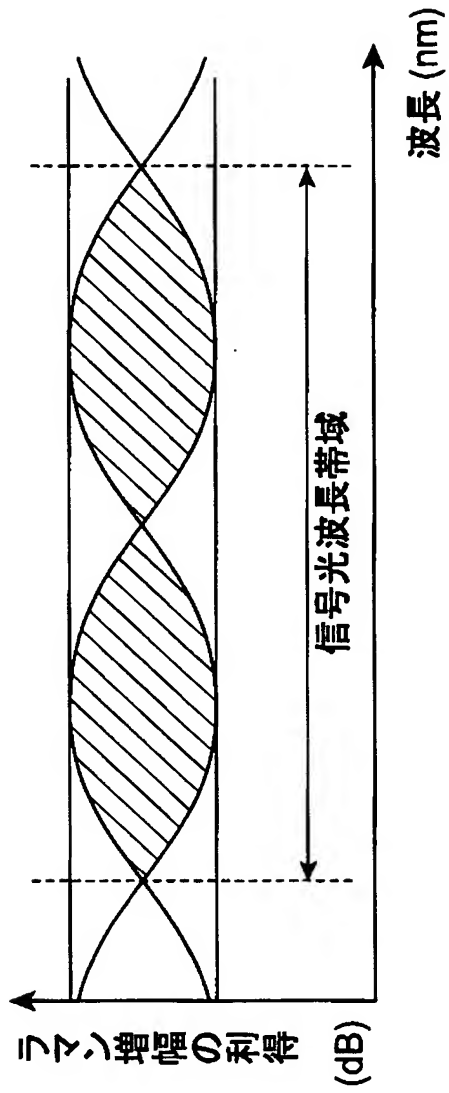
【図 3】



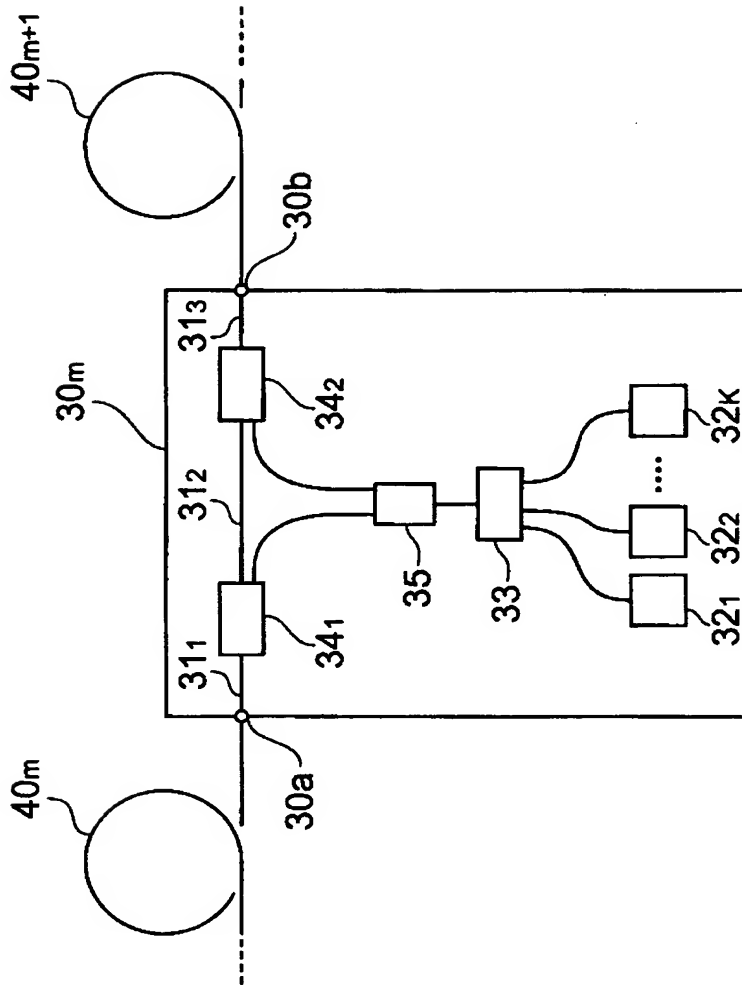
【図 4】



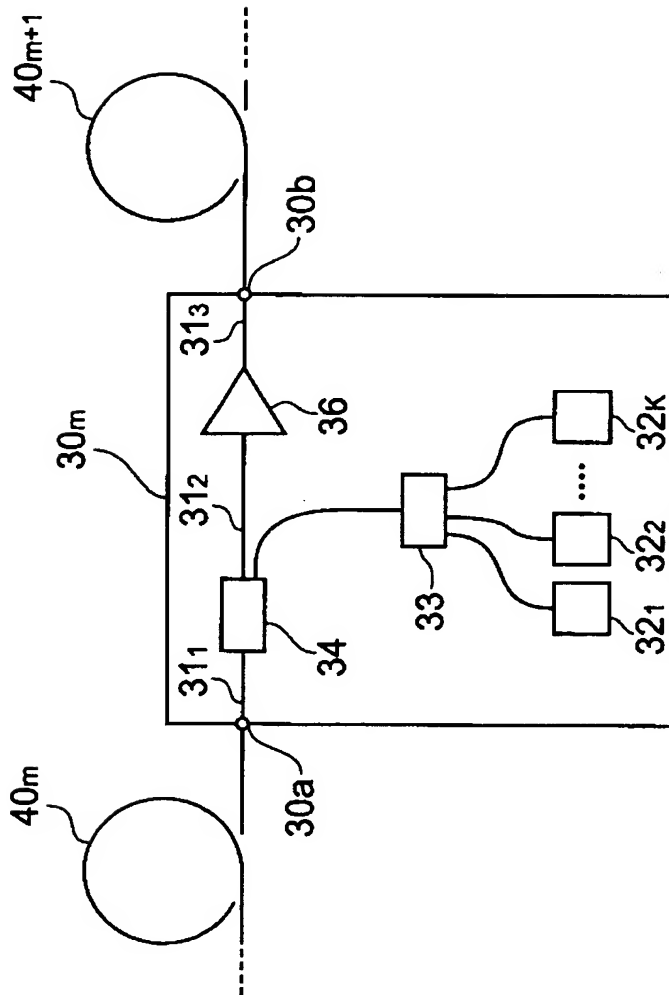
【図 5】



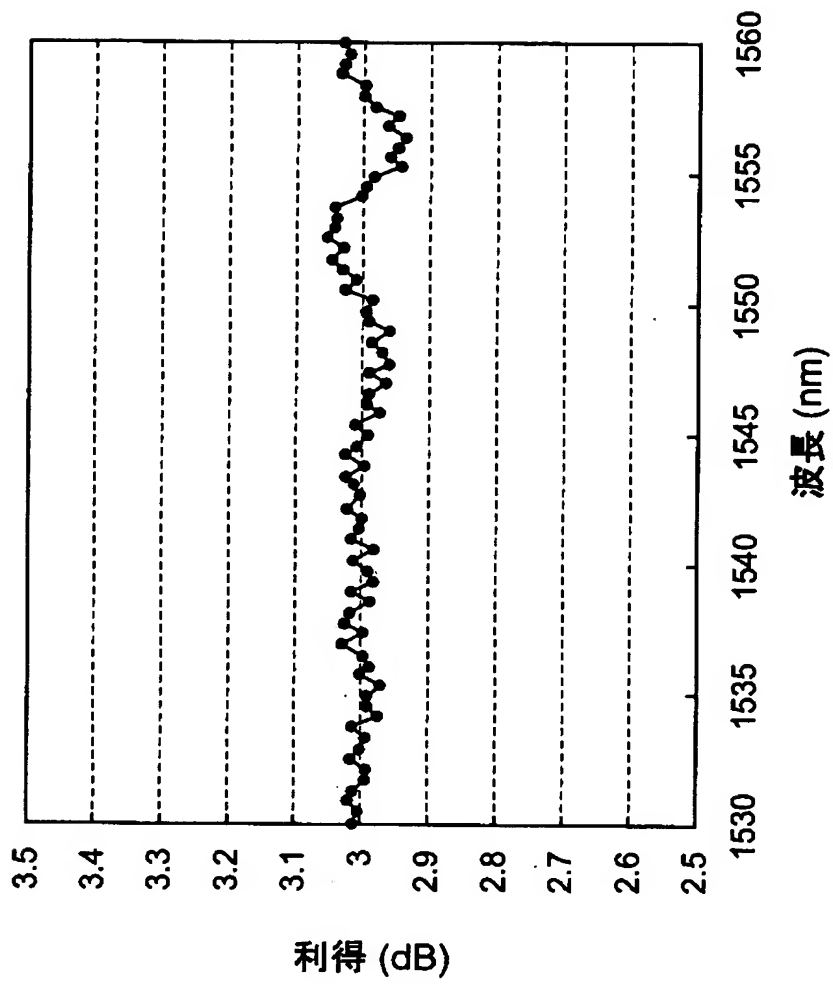
【図 6】



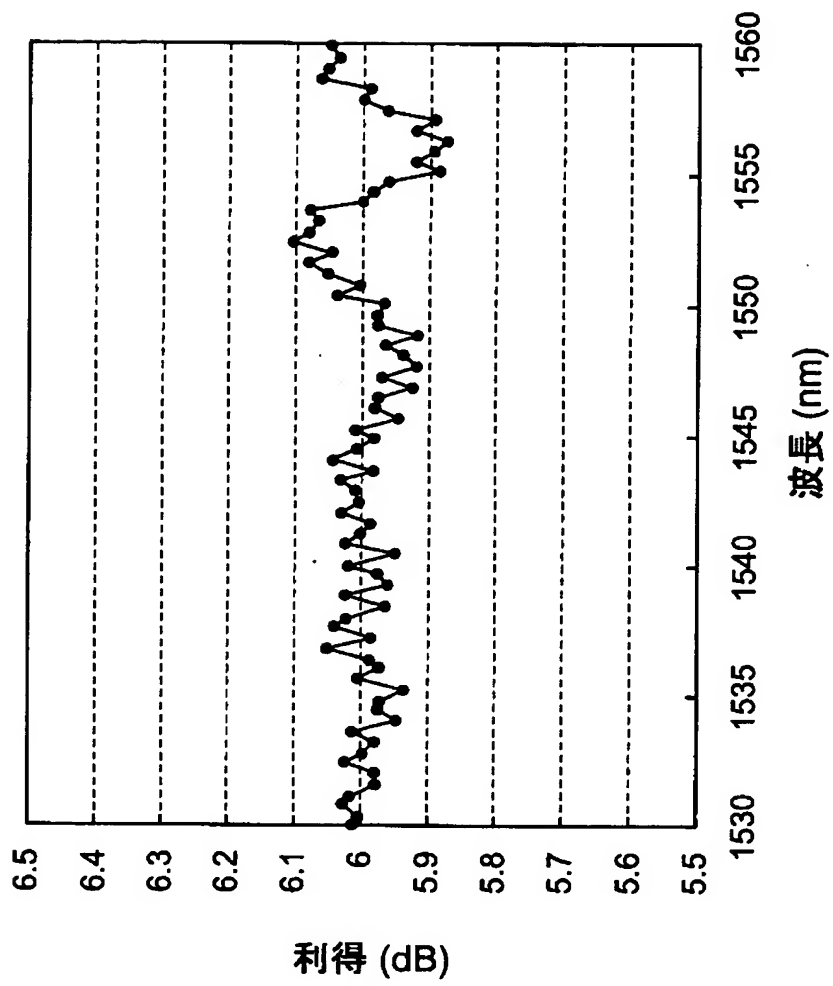
【図 7】



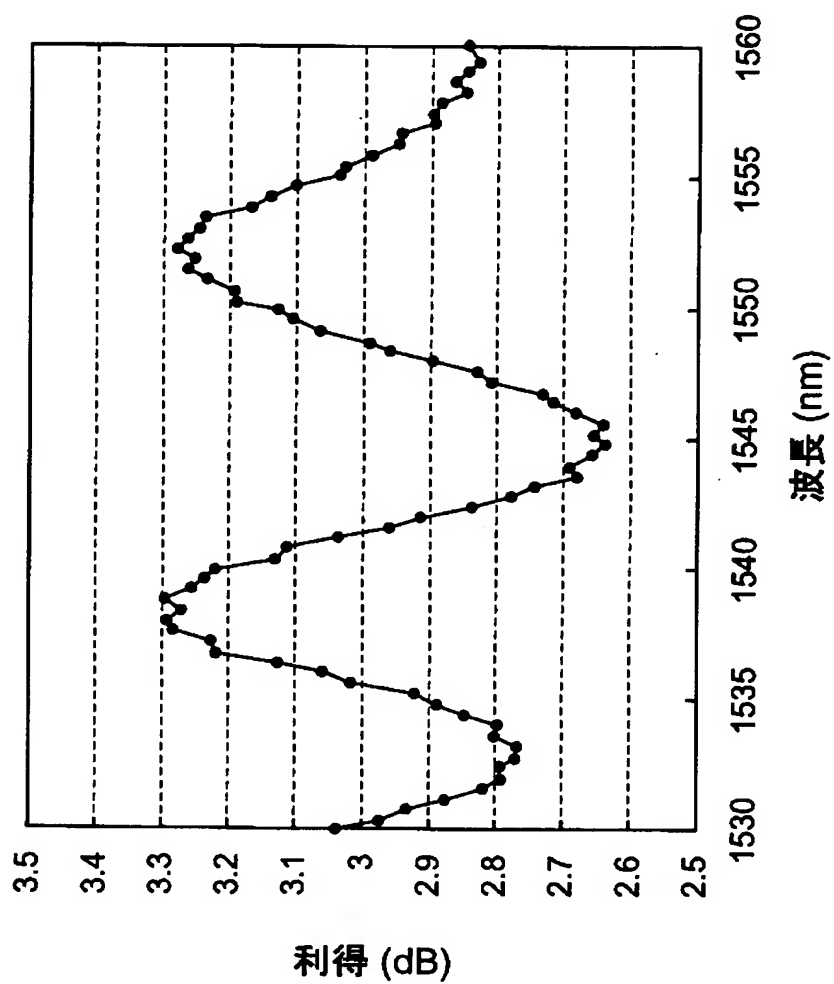
【図 8】



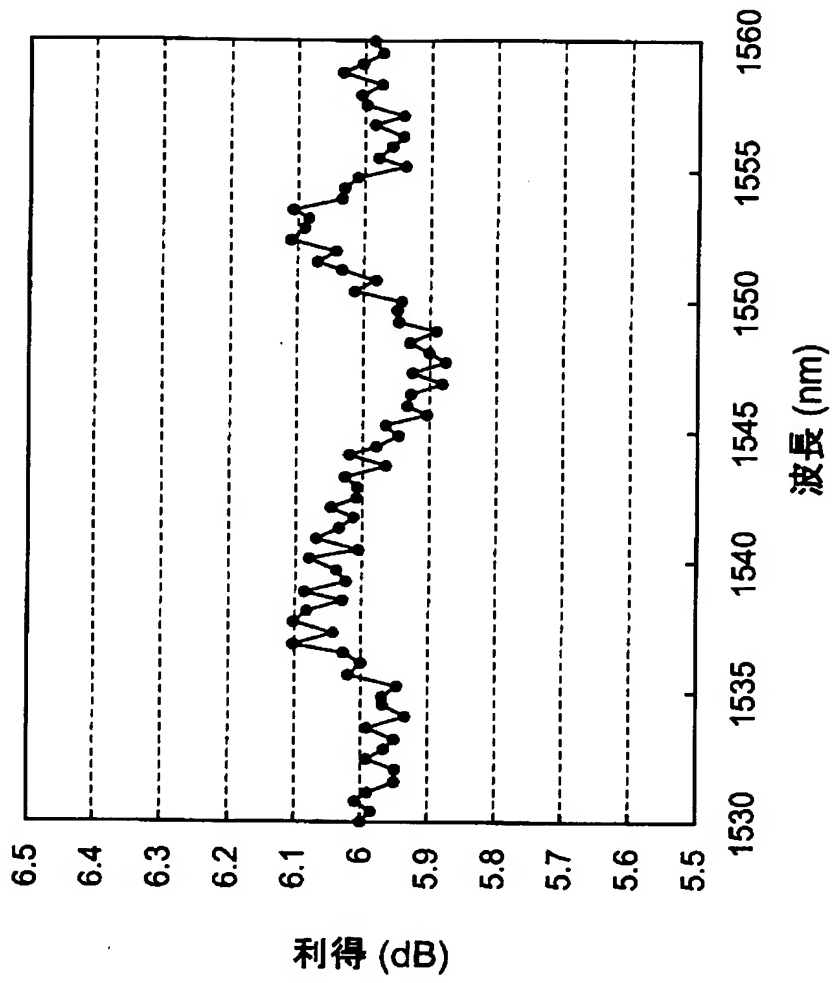
【図9】



【図 10】



【図 1 1】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 信号光波長帯域におけるラマン増幅の利得スペクトルが平坦であってコストが安く励起効率が優れた光通信システムを提供する。

【解決手段】 各中継区間に敷設された光ファイバ 40_m におけるラマン増幅の利得が最大となる波長が互いに異なる、或いは、光ファイバ 40_m におけるラマン増幅の利得が極大となる波長の数が互いに異なる、或いは、第 m 段の中継器 30_m に含まれる励起光源の数を互いに異なる。各ラマン増幅用光ファイバ 40_m におけるラマン増幅の利得スペクトルは信号光波長帯域内で平坦ではなくとも、送信器 10 から受信器 20 に到るまでの光伝送路の全体におけるラマン増幅の利得スペクトルは信号光波長帯域内で平坦なものとすることができる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名 住友電気工業株式会社